

MODIFIKASI PERMUKAAN KARBON AKTIF TONGKOL JAGUNG (*Zea mays*) DENGAN HNO_3 , H_2SO_4 , DAN H_2O_2 SEBAGAI BAHAN ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

Harfianti Amiruddin*, Muhammad Zakir, dan Paulina Taba

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Makassar 90245 email: harfiantiamiruddin@gmail.com

Abstrak. Sintesis dan karakterisasi karbon aktif tongkol jagung (*Zea mays*) termodifikasi HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 sebagai bahan elektroda superkapasitor telah dilakukan. Karbon aktif tongkol jagung dibuat dengan beberapa tahapan, yakni karbonisasi, ekstraksi silika, aktivasi kimia dengan ZnCl_2 , dan modifikasi permukaan dengan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 . Hasil analisis XRF menunjukkan kandungan senyawa silika pada karbon aktif sebelum ekstraksi sebesar 23,73% b/b dan hasil SEM menunjukkan pembentukan pori karbon pada hasil ekstraksi silika dan aktivasi. Luas permukaan karbon aktif yang diperoleh dengan metode BET yaitu 306,5483 m^2/gram . Nilai kapasitansi spesifik dengan metode *Cyclic Voltammetry* yang diperoleh pada karbon aktif termodifikasi HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 berturut-turut sebesar 15,94; 9,88; dan 9,87 μF .

Kata kunci: Karbon aktif, modifikasi permukaan, karakterisasi, kapasitansi spesifik.

Abstract. Synthesis and characterization of activated carbon from corn cob (*Zea mays*) modified by HNO_3 , H_2SO_4 and H_2O_2 as a supercapacitor electrode material have been conducted. Activated carbon was made from corn cobs with several stages, namely carbonization, silica extraction, chemical activation with ZnCl_2 , and surface modification with HNO_3 , H_2SO_4 and H_2O_2 . The results of XRF analysis showed that the amount of silica compound in activated carbon before extraction was 23,73 % w/w and SEM results indicated carbon pores formation after the extraction of silica and activation. The surface area of activated carbon obtained by the BET method was 306,5483 m^2/g . The specific capacitance value of activated carbon modified by HNO_3 , H_2SO_4 , and H_2O_2 obtained by cyclic voltammetry method was 15,94; 9,88; and 9,87 μF , respectively.

Keywords: Activated carbon, surface modification, characterization, specific capacitance.

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, energi listrik telah menjadi kebutuhan pokok masyarakat dunia dan telah membawa pengaruh besar pada hampir seluruh sektor kehidupan. Kebutuhan energi di Indonesia yang masih bergantung pada bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batubara, dan gas bumi sebagai sumber energi listrik telah berpengaruh pada dampak terhadap pencemaran udara dan akan berdampak terhadap mutu kehidupan dan kesehatan masyarakat^[3,21]. Kebutuhan energi di Indonesia juga terus mengalami peningkatan seiring dengan aktifitas ekonomi pada sektor industri, transportasi, komersial, dan rumah tangga^[22]. Kebutuhan energi yang semakin besar tersebut, mendorong hadirnya berbagai energi alternatif dalam memecahkan masalah krisis energi nasional.

Perangkat penyimpan energi menjadi salah satu pertimbangan solusi energi alternatif. Penyimpanan energi listrik dapat dilakukan pada baterai, sel bahan bakar, dan kapasitor. Baterai dan sel bahan bakar memiliki kemampuan untuk menyimpan energi yang tinggi namun memiliki rapat daya yang kecil. Kapasitor memiliki rapat daya cukup besar namun menyimpan energi yang sangat kecil. Dari permasalahan tersebut, kapasitor

terobosan baru yakni superkapasitor diciptakan untuk memperoleh kapasitansi dengan densitas energi dan daya yang tinggi^[2,30].

Kemampuan rapat daya yang besar pada superkapasitor disebabkan oleh luas permukaan yang besar dari material elektroda^[11]. Salah satu bahan elektroda superkapasitor yang saat ini cukup populer digunakan adalah karbon aktif yang memiliki pori yang berukuran nanometer. Distribusi pori yang besar pada karbon aktif akan menghasilkan elektroda dengan luas permukaan yang besar^[15].

Pembuatan dan pemanfaatan karbon aktif dari biomassa khususnya sebagai aplikasi elektroda elektrokimia telah diperkenalkan untuk kepentingan biomassa, bioenergi, dan pengembangan energi masa depan^[9]. Karbon aktif dari biomassa dapat dibuat dari tongkol jagung, ampas tebu, tempurung kelapa, sabut kelapa sekam padi, serbuk gergaji, kayu keras, dan batu bara.

Tongkol jagung merupakan salah satu limbah biomassa yang menarik diteliti sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif karena merupakan bagian terbesar dari limbah jagung. Tanaman jagung juga termasuk tanaman multifungsi sekaligus komoditi tanaman pangan kedua terpenting setelah padi.

Berdasarkan urutan bahan makanan pokok di dunia, jagung menduduki urutan ketiga setelah gandum dan padi^[7].

Sekitar 40-50% dari berat jagung merupakan tongkol jagung yang beratnya dipengaruhi oleh varietasnya^[20,29]. Selain itu, kandungan tongkol jagung sebagian besar tersusun atas lignoselulosa yaitu: Lignin (6%), selulosa (41%), dan hemiselulosa (36%), yang mengindikasikan bahwa tongkol jagung berpotensi sebagai bahan karbon aktif^[13,23].

Pembuatan karbon aktif terdiri atas dua tahap yaitu proses karbonisasi dan aktivasi. Karbonisasi merupakan proses pembakaran bahan baku pada suhu tinggi yang menyebabkan terjadinya dekomposisi senyawa organik yang menyusun struktur bahan baku^[19] sedangkan proses aktivasi bertujuan untuk memperbesar porositas dan luas permukaan karbon aktif^[18].

Umumnya karbon aktif mengandung silika yang diperoleh dari bahan bakunya, seperti tongkol jagung yang memiliki kandungan silika yang cukup tinggi yaitu 20,4%^[23]. Menurut Wei dkk. (2011), proses ekstraksi silika akan menghasilkan pori yang banyak sehingga luas permukaan dari karbon aktif meningkat. Andhika (2015) mengekstraksi silika dari karbon aktif sekam padi dan memperoleh pori yang lebih banyak pada permukaan karbon.

Selain luas permukaan yang tinggi, modifikasi permukaan juga memiliki pengaruh terhadap karakteristik suatu material karbon, khususnya sebagai bahan elektroda superkapasitor^[11,17]. Modifikasi permukaan karbon aktif bertujuan untuk menciptakan gugus fungsi pada permukaan karbon yang dilaporkan mempunyai pengaruh dalam meningkatkan nilai kapasitansi karbon aktif sebagai bahan elektroda^[11,25]. Ismanto dkk. (2010) melakukan modifikasi permukaan karbon aktif dari kulit singkong dengan menggunakan larutan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 . Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai kapasitansi spesifik paling tinggi diperoleh dari karbon aktif yang permukaannya dimodifikasi dengan HNO_3 , 72,6 % yang lebih tinggi dibandingkan karbon aktif tanpa modifikasi permukaan.

Pada penelitian ini, modifikasi permukaan karbon aktif limbah tongkol jagung dilakukan dengan menggunakan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 . Karbon aktif termodifikasi selanjutnya akan diukur nilai kapasitansi spesifiknya dengan metode siklik voltammetri

2. METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tanur (*Muffle Furnace* tipe 6000), cawan porselin, pengaduk magnetik (Fisher tipe 115), ayakan ukuran 200 mesh, desikator, penangas air

(hot plate), statif, corong Buchner, alat gelas laboratorium, termometer, lumpang, neraca analitik (Shimadzu AW220), labu semprot plastik, pompa vakum (Vacuubrand tipe ME4C), oven (tipe SPNISOSFD), dan pengaduk magnetik (CERAMAG Midi).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tongkol jagung, NaOH (Merck), akuades, HNO_3 , H_2SO_4 , H_2O_2 , padatan ZnCl_2 , kawat tembaga, kawat platina, elektroda Ag/AgCl, elektroda Pt, natrium bikarbonat, natrium karbonat, natrium hidroksida, asam klorida, kertas saring Whatman nomor 42 diameter 90, aluminium foil, kertas pH universal, dan kertas saring biasa

Preparasi Sampel

Tongkol jagung dipotong menjadi bagian-bagian kecil kemudian dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan partikel-partikel kotor yang melekat pada permukaan tongkol jagung kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari.

Karbonisasi

Sebanyak 100 gram tongkol jagung yang kering dan bersih, dikarbonisasi dalam tanur selama 1 jam dengan variasi suhu 400 °C, 300 °C, dan 280 °C. Proses tersebut menghasilkan karbon tongkol jagung. Karbon yang diperoleh didinginkan dalam desikator, digerus, dan diayak dengan pengayak 100 mesh^[16].

Ekstraksi Silika

Karbon yang telah dikarbonisasi diekstraksi silikanya untuk mendapatkan karbon yang bebas silika dengan larutan 2,5% b/v NaOH dalam etanol 50% v/v. Sebanyak 1 gram serbuk karbon ditambahkan dengan 60 mL larutan NaOH dan direfluks selama 1,5 jam. Campuran kemudian disaring dan prosedur refluks diulang. Hasil refluks disaring kembali dan residu yang dihasilkan, dicuci dengan akuades hingga pH netral. Hasil ekstraksi silika kemudian dianalisis kandungan senyawa SiO_2 dengan XRF^[24].

Aktivasi

Karbon tongkol jagung bebas silika dimasukkan ke dalam 5 buah gelas kimia masing-masing sebanyak 5 gram ditambahkan 25 mL larutan ZnCl_2 8% b/v lalu dididihkan selama 90 menit. Setelah itu, disaring menggunakan corong Buchner dan endapannya dipindahkan ke dalam cawan porselin lalu dipanaskan dalam tanur pada suhu 600 °C selama 1 jam. Karbon aktif tongkol jagung kemudian dicuci dengan akuades berulang-ulang hingga filtrat pH netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C hingga berat konstan diperoleh^[16].

Modifikasi Permukaan

Karbon yang teraktivasi dicampur dengan larutan oksidator HNO₃, H₂SO₄, dan H₂O₂ pekat, masing-masing dengan perbandingan massa 5:1 (mL zat kimia: gram karbon aktif) dipanaskan sampai suhu 65 °C kemudian dikocok dengan laju konstan (130 rpm) selama 24 jam. Setelah itu, dicuci dengan akuades berulang-ulang sampai pH netral. Kemudian dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 110 °C [8].

Karakterisasi Permukaan Karbon Aktif Secara Kimia melalui Metode Titrasi Boehm

Analisis gugus asam dilakukan dengan merendam 0,5 gram karbon aktif ke dalam masing-masing larutan NaHCO₃ 0,05 N, Na₂CO₃ 0,05 N dan NaOH 0,05 N sebanyak 50 mL. Campuran didiamkan selama 24 jam dan disaring. Sebanyak 10 mL masing-masing filtrat dipipet dan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer kemudian ditambahkan 12 mL larutan HCl dan 2-3 tetes indikator fenoltalein. Analit tersebut dititrasi balik menggunakan NaOH 0,05 N. Analisis gugus basa dilakukan dengan merendam 0,5 gram karbon aktif dalam HCl 0,05 N sebanyak 50 mL. Campuran didiamkan selama 24 jam dan disaring. Filtrat yang dihasilkan, dipipet sebanyak 10 mL ke dalam Erlenmeyer kemudian ditambahkan 12 mL NaOH 0,05 N dan 2-3 tetes indikator metil merah. Campuran dititrasi balik dengan HCl 0,05 N [4,5,8].

Karakterisasi

Karakterisasi fisik pada karbon aktif tongkol jagung dilakukan dengan analisis gugus fungsi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*), XRF (*X-Ray Fluorescence*), penentuan luas permukaan dengan metode BET, dan analisis morfologi dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

Pembuatan Elektroda Karbon

Badan elektroda dibuat dengan menghubungkan kawat tembaga dan platina menggunakan solder uap. Setelah itu dimasukkan ke dalam pipet dan direkatkan menggunakan parafilm. Karbon aktif dicampur dengan lilin parafin dengan perbandingan massa karbon/massa lilin parafin adalah 1 : 2 dan diaduk sampai homogen menggunakan spatula pada cawan petri. Setelah itu, pasta karbon dimasukkan ke dalam badan elektroda dengan cara ditekan menggunakan spatula agar memadat [26,27].

Pengukuran Kapasitansi Spesifik

Elektroda pasta karbon diukur kapasitansi spesifik penyimpanan energinya dengan menggunakan teknik *cyclic voltammetry*. Pengukuran ini menggunakan alat Potentiostats EA161 dengan tiga elektroda yaitu elektroda Pt, elektroda Ag/AgCl dan elektroda pasta karbon. Pengujian elektroda dilakukan dengan laju *scan* 250 mV/s menggunakan larutan elektrolit H₂SO₄

1 M sehingga diperoleh voltammogram tegangan dan arus, kemudian dihitung nilai kapasitansi spesifik penyimpanan energinya [6].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karbonisasi

Proses karbonisasi tongkol jagung pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *furnace* (tanur) dengan variasi suhu pembakaran. Tabel 1 menunjukkan pengaruh suhu terhadap proses karbonisasi.

Tabel 1. Pengaruh suhu terhadap proses karbonisasi

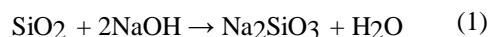
Suhu dan Waktu Karbonisasi	Hasil Analisa
280 °C selama 1 jam	arang
300 °C selama 1 jam	arang dengan sedikit abu
400 °C selama 1 jam	sedikit arang dan banyak abu

Data di atas menunjukkan bahwa temperatur mempengaruhi arang yang dihasilkan. Berdasarkan rujukan penelitian yang dilakukan oleh Prasetyo dan Nasarudin (2013), proses karbonisasi bahan baku tongkol jagung terjadi pada suhu 400 °C selama 1 jam. Pada temperatur 400 °C dan 300 °C, dihasilkan arang tetapi masih mengandung banyak abu.

Secara visual pada temperatur 280 °C, arang yang dihasilkan berwarna hitam lebih pekat. Data tersebut, menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur karbonisasi, arang yang dihasilkan semakin sedikit. Hal ini disebabkan karena semakin besar suhu pembakaran selama proses karbonisasi, penguraian komponen-komponen yang terkandung di dalam bahan baku seperti air, tar, dan zat-zat volatil juga semakin besar [10].

Ekstraksi Silika

Ekstraksi silika pada penelitian ini, dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH seperti pada persamaan reaksi (1).



Arang tongkol jagung hasil analisis XRF menunjukkan keberadaan kandungan silika (SiO₂) sebesar 23,73% b/b dari 15 senyawa oksida yang terkandung dalam arang tongkol jagung. Senyawa oksida yang dominan dalam arang tongkol jagung antara lain K₂O, SiO₂, CaO, P₂O₅, Cl, Fe₂O₃, dan ZnO. Setelah proses ekstraksi silika dilakukan, hasil analisis dengan XRF menunjukkan senyawa silika sudah tidak ditemukan.

Analisis Morfologi Permukaan Karbon Aktif

Pembentukan karbon aktif dan pembentukan pori ditunjukkan oleh morfologi permukaan karbon aktif hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan perbesaran 5000 kali, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) SEM hasil karbonisasi, (b) SEM hasil ekstraksi silika, (c) SEM hasil aktivasi.

Fitur SEM karbon aktif hasil karbonisasi (Gambar 1.a) tidak memperlihatkan rongga pada permukaan sampel. Setelah mengalami proses ekstraksi silika (Gambar 1.b) hasil SEM menunjukkan permukaan sampel berpori dan memiliki bentuk yang berongga. Hasil SEM pada sampel hasil aktivasi (Gambar 1.c) juga menunjukkan permukaan sampel yang berongga dan jumlah pori yang dihasilkan semakin banyak. Luas permukaan dan terbentuknya pori internal pada karbon aktif dalam skala nanometer selanjutnya dikonfirmasi dari hasil pengukuran dengan metode Brunauer-Emmett-Teller *isotherm* (BET) yang diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis BET karbon aktif tongkol jagung

Sampel	S_{BET} (m^2/g)	V_{pori} (cm^3/g)	d_{pori} (nm)
Karbon bersilika	4,5418	0,001353	2,0942
Karbon bebas silika	5,9758	0,001159	2,0885
Karbon teraktivasi	306,5483	0,014437	2,0302

Hasil penentuan luas permukaan dengan metode BET menunjukkan bahwa arang tongkol jagung hasil karbonisasi memiliki luas permukaan yang cukup kecil, yakni sebesar $4,5418 m^2/g$. Setelah diekstraksi silikanya, luas permukaannya meningkat namun tidak signifikan, yakni hanya sebesar $5,9758 m^2/g$ dan karbon aktif setelah aktivasi, luas permukaannya meningkat cukup besar, yakni $306,5483 m^2/g$.

Modifikasi Permukaan Karbon Aktif

Modifikasi permukaan karbon aktif pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 . Kehadiran gugus-gugus fungsi yang mengandung oksigen dari hasil modifikasi permukaan dikarakterisasi dengan menggunakan metode titrasi Boehm (*back titration*).

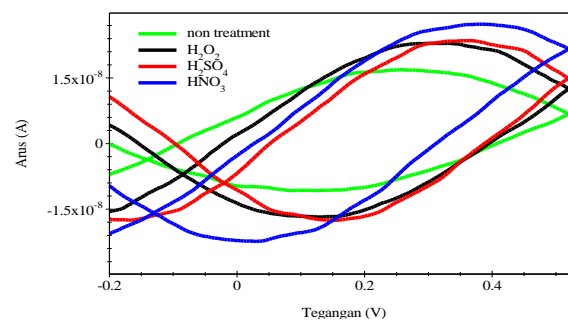
Tabel 3. Perbandingan konsentrasi gugus fungsi karbon aktif sebelum dan setelah modifikasi HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2

Sampel Karbon Aktif	Gugus Asam (mek/g)			Total	Gugus Basa (mek/g)
	Karboksil	Lakton	Fenol		
non-treat	0,5916	0,2618	0,3321	1,1855	3,8895
termodifikasi HNO_3	0,7425	0,6642	0,4830	1,8897	3,7368
termodifikasi H_2SO_4	0,5413	0,6642	0,4327	1,6382	3,5332
termodifikasi H_2O_2	0,6419	0,2618	0,4327	1,3364	3,7368

Karakter asam-basa dari permukaan karbon aktif ditunjukkan melalui data hasil titrasi Boehm. Konsentrasi total asam meningkat dan konsentrasi total basa menurun setelah modifikasi. Keadaan seperti ini juga telah diamati pada penelitian sebelumnya dan diindikasikan bahwa permukaan dasar dari karbon aktif mengikuti tipe Lewis dan berhubungan dengan ikatan π yang kaya elektron pada lapisan grafit karbon. Hal ini sesuai dengan kenyataan bahwa peningkatan gugus yang mengandung oksigen menyebabkan berkurangnya kepadatan elektron pada permukaan karbon aktif dan akibatnya dapat mengurangi sifat basa dari karbon aktif^[12,14].

Pengukuran Kapasitansi Spesifik

Karakterisasi pengukuran kapasitansi spesifik dilakukan dengan menggunakan metode voltametri siklik dan pengujian elektroda dilakukan dengan laju *scan* $250 mV/s$. Gambar 2 menunjukkan voltammogram dari elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah modifikasi.



Gambar 2. Voltammogram elektroda pasta karbon aktif tongkol jagung

Bentuk kurva yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan metode voltametri siklik memberikan gambaran besarnya nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan. Nilai kapasitansi spesifik dipengaruhi oleh arus *charge*, garis yang berada bidang atas kurva dan arus *discharge*, garis yang berada pada bidang bawah kurva seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16. Nilai arus *charge* dan *discharge* dari elektroda digunakan untuk

menghitung nilai kapasitansi spesifik menggunakan persamaan 2.

$$C_s = \frac{I_c - I_d}{v \cdot m} \quad (2)$$

di mana C_s adalah kapasitansi spesifik (F/g), I_c dan I_d masing-masing adalah arus *charge* dan *discharge* (A), v adalah laju *scan* (V/s), dan m adalah massa karbon pada elektroda. Nilai kapasitansi spesifik dari elektroda pasta karbon aktif sebelum dan sesudah modifikasi ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data *cyclic voltammetry* elektroda pasta karbon

Elektroda Pasta karbon	Laju scan (V/s)	Massa (g)	I_c (nA)	I_d (nA)	C_s (μ F/g)
non-treatment	0,25	0,0158	16,9	- 10,8	7,01
termodifikasi HNO_3	0,25	0,0125	27,3	- 22,5	15,94
termodifikasi H_2SO_4	0,25	0,0166	23,5	- 17,5	9,88
termodifikasi H_2O_2	0,25	0,0162	23,0	- 17,0	9,87

Nilai kapasitansi spesifik paling tinggi yang dihasilkan oleh elektroda pasta karbon yaitu karbon aktif termodifikasi HNO_3 dengan nilai kapasitansi spesifik sebesar 15,94 μ F/g. Selain itu, karbon aktif termodifikasi H_2SO_4 dan H_2O_2 juga mengalami peningkatan dibandingkan sebelum modifikasi dengan nilai kapasitansi spesifik hanya sebesar 7,01 μ F/g. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi permukaan karbon aktif dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik.

4. SIMPULAN

Luas permukaan karbon aktif tongkol jagung sebelum dan sesudah ekstraksi silika serta setelah aktivasi dengan aktivator $ZnCl_2$ berturut-turut adalah 4,5418 m^2/g , 5,9758 m^2/g , dan 306,5483 m^2/g . Modifikasi permukaan karbon aktif tongkol jagung dapat meningkatkan gugus fungsi pada permukaan karbon aktif khususnya gugus fungsi yang mengandung oksigen.

Nilai kapasitansi spesifik karbon aktif tongkol jagung sebelum dan setelah modifikasi permukaan dengan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 berturut-turut adalah 7,01; 15,94; 9,88; dan 9,87 μ F/g.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Andhika, R., 2015, *Elektrodeposisi Logam Cu Pada Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi Bebas Silika dengan Iradiasi Ultrasonik*, Skripsi tidak diterbitkan, Jurusan Kimia

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Makassar.

- [2] Arepalli, S., Fireman, H., Huffman, C., Moloney, P., Nikolaev, P., Yowell, L., Higgins, C.D., Kim, K., Kohl, P.A., Turano, S.P., 2005, Carbon-nanotube Based Electrochemical Double Layer Capacitor Technologies for Space Flight Applications, *J. Mater.*, **57**, 26-31.
- [3] Chahaya, I., 2005, Pengetahuan, Sikap, dan Tindakan Masyarakat dalam Upaya Menghemat Pemakaian Energi Listrik di Perumahan Nasional (Perumnas) Helvetia Kecamatan Medan Helvetia Kota Medan, *Jurnal Komunikasi Penelitian*, **17** (4), 60-65.
- [4] Grandistin, 2014, *Karakterisasi dan Uji Adsorpsi Batubara Muda Termodifikasi Hidrogen Peroksida Menggunakan Metode Kontinyu Terhadap Metilen Biru*, Skripsi diterbitkan, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- [5] Harti, R., Allwar, Fitri, N., 2014, Karakterisasi dan Modifikasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit dengan Asam Nitrat untuk menyerap Logam Besi dan Tembaga dalam Minyak Nilam, *Ind. J. Chem. Res.*, **2** (1), 1-10.
- [6] Himmaty, I., Endarko, 2013, Pembuatan Elektroda dan Perancangan Sistem Capacitive Deionization untuk Mengurangi Kadar Garam pada Larutan Sodium Clorida (NaCl), *Berkala Fisika*, **16** (3), 67-74.
- [7] Ilato, R., Bahua, M.I., 2014, Analisis Rantai Komoditas Jagung serta Strategi Peningkatan Pendapatan Petani Jagung di Provinsi Gorontalo, *Penelitian Prioritas Nasional Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia 2012-2025*, Universitas Negeri Gorontalo.
- [8] Ismanto, A.E., Wang, S., Soetaredjo, F.E., Ismadji, S., 2010, Preparation of Capacitor's Electrode from Cassava Peel Waste, *Bioresour. Technol.*, **101**, 3534-3540.
- [9] Kalyani, P. Anita, A., 2013, Biomass Carbon and Its Prospects in Electrochemical Energy Systems, *Int. J. Hydrogen Energy*, **38**, 4034-4045.
- [10] Latifan, R., dan Susanti, D., 2012, Aplikasi Karbon Aktif dari Tempurung Kluwak (*Pangium Edule*) dengan Variasi Temperatur Karbonisasi dan Aktivasi Fisika sebagai

- Electric Double Layer Capacitor (EDLC), *Jurnal Teknik Material dan Metalurgi*, **1** (1), 1-6.
- [11] Liu, Y., Hu, Z., Xu, K., Zheng, X., Gao, Q., 2008, Surface Modification and Performance of Activated Carbon Electrode Material, *Acta Phys. Chim. Sinica*, **24** (7), 1143-1148.
- [12] Lopez-Ramon, Stoeckli, F., Moreno-Castilla, Carrasco-Marin, F., 1999, On The Characterization of Acidic and Basic Surface Sites on Carbons by Various Techniques, *Carbon*, **37**, 1215-1221.
- [13] Lorenz, K.J., Kulp, K., 1991, *Handbook of Cereal Science and Technology*, Marcel Dekker, New York.
- [14] Moreno-Castilla, C., Lopez-Ramon, M.V., Carrasco-Marin, F., 2000, Changes in Surface Chemistry of Activated Carbons by Wet Oxidation, *Carbon*, **38**, 1995-2001.
- [15] Nurdianti, D., Astuti, 2015, Sintesis Komposit PAni/Karbon dari Tempurung Kemiri (*Aleurites Moluccana*) sebagai Elektroda Kapasitor, *Jurnal Fisika Unand*, **4** (1), 51-57.
- [16] Prasetyo, Y., Nasrudin, H., 2013, Penentuan Konsentrasi $ZnCl_2$ Pada Proses Pembuatan karbon Aktif Tongkol Jagung dan Penurunan Konsentrasi Surfaktan Linier Alkyl Benzene Sulfonate (LAS), *Unesa Journal of Chemistry*, **2** (3), 231-235.
- [17] Qu, D., Shi, H., 1998, Studies of Activated Carbons Used in Double Layer Capacitors, *J. Power Sources*, **74**, 99-107.
- [18] Rahmawati, Y.D., Prasetyo, I., dan Rochmadi, 2010, Pengaruh Penambahan Zat Pendehidrasi terhadap Struktur Mikropori Material Karbon yang Dibuat dari Pirolisis Resin Phenol-tert.buthyl phenol-formaldehid, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, J02.1-J02.9.
- [19] Ramdja, A.F., Halim, M., Handi, J., 2008, Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa (*Cocos nucifera*), *J. Tek.Kim*, **15** (2), 1-8.
- [20] Richana, N., Lestina, P., Irawadi, T.T., 2004, Karakterisasi Lignoselulosa Xylan dari limbah Tanaman Pangan dan Pemanfaatannya untuk Pertumbuhan Bakteri, RXA III-5 Penghasil Xilanase, *J. Penelitian Pertanian*, **23**, 171-176.
- [21] Slamet, J.S., 2002, *Kesehatan Lingkungan*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [22] So, P.Y., 2014, Implementasi Kebijakan Konservasi Energi di Indonesia, *E-Journal Graduate Unpar*, **1** (1), 1-13.
- [23] Suryani, A.M., 2009, *Pemanfaatan Tongkol Jagung untuk Pembuatan Arang Aktif sebagai Adsorben Pemurnian Minyak Goreng Bekas*, Skripsi diterbitkan, Departemen Kimia, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [24] Taba, P., 2007, The Potency of Mesoporous Carbon (CMK-1) as Adsorbent of Dyes, *Proceeding of ICCS 2007*, 2-9.
- [25] Tashima, D., Kurosawatsu, K., Sung, Y., Otsubo, M., Honda, C., 2007, Surface Modification of Nanoporous Materials for Electric Double Layer Capacitors Application, *Mater. Chem. Phys.*, **103**, 158-161
- [26] Vytras, K., Svancara, I., Metelka, R., 2009, Carbon Paste Electrodes in Electroanalytical Chemistry, *J. Serb.Chem. Soc.*, **74** (10), 1021-1033.
- [27] Wachid, M.R., Setiarso, P., 2014, Pembuatan Elektroda Pasta Karbon Termodifikasi Bentonit untuk Analisis Ion Logam Tembaga(II) secara Cyclic Voltammetry Stripping, *Prosiding Seminar Nasional Kimia, Universitas Negeri Surabaya*, Surabaya, 20 September.
- [28] Wei, X., Xiao, L., Jin, Z., Ping, Z.S., 2011, Carbon Derived from Rice Husk for Electrochemical Capacitor Application, *Mater. Res.*, **239-242**, 2101-2106.
- [29] Wungkana, I., Suryanto, E., Momuat, L., 2013, Aktivitas Antioksidan dan Tabir Surya Fraksi Fenolik dari Limbah Tongkol Jagung (*Zea mays L.*), *Jurnal Ilmiah Farmasi Unsrat*, **2** (4), 149-155.
- [30] Zhang, Y., Feng, H., Wu, X., Wang, L., Zhang, A., Xia, T., Dong, H., Li, X., Zhang, L., 2009, Progress of Electrochemical Capacitor Electrode Materials : A Review, *Int. J. Hydrogen Energy*, **34**, 4889-4899.